



# Прогноз вулканических извержений на Камчатке: роль экспертов

**В.В. ИВАНОВ**, к.г.-м.н., с.н.с.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (Россия, 68306, г. Петропавловск-Камчатский, бул. Пийпа, д. 9).

E-mail: victor@kscnet.ru

В последние шесть десятилетий на Камчатке работала замечательная плеяда исследователей (экспертов), чьими силами был разработан ряд оригинальных методик мониторинга и прогнозирования вулканических извержений, на основе которых был выдан ряд эффективных краткосрочных прогнозов вулканических извержений: большого трещинного Толбачинского в 1975–1976 годах, побочного Ключевского в 1983 году, Шивелуча в 2001 году, Кизимена в 2009–2011 годах, Безымянного в 2001–2012 годах и др. Детальный анализ полученного на Камчатке богатого опыта будет способствовать повышению эффективности прогнозирования природных катастроф.

*Ключевые слова:* вулканическое извержение, вулканическая опасность, прогнозирование извержений вулканов, эксперты.

Статья представляет собой третью часть серии статей в журнале «История и педагогика естествознания», посвященных проблеме прогнозирования извержений вулканов на Камчатке в связи с подведением итогов работ к 50-летию Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС ДВО РАН). В первых двух частях серии [1, 2] была сформулирована проблема прогноза вулканических извержений, актуальность ее решения на примере многочисленных, разнообразных по типу и масштабу извержений камчатских вулканов, описаны методы мониторинга и методики прогнозирования извержений вулканов на Камчатке, работа экспертных советов, дана сводка успешных прогнозов за 57 лет (1955–2012), анализ «пропусков цели» и «ложных тревог» и подробное изложение обстоятельств, связанных с наиболее важными прогнозами. Отмечено большое количество «пропусков цели» и «ложных тревог». Проанализированы причины сравнительно низкой эффективности прогнозирования и намечены возможные пути ее повышения. В данной, третьей части внимание акцентировано на человеческом факторе – роли опытных экспертов, которые, по нашему мнению, внесли наибольший вклад в прогноз вулканических извержений на Камчатке, что является целью работы. В силу ограниченности объема статьи в данной работе приведен сокращенный список литературы, более полные ссылки можно найти в первых двух частях и на сайте ИВиС ДВО РАН по адресу <http://www.kscnet.ru/ivs/bibl/tks.htm>.

Остановимся на экспертах, внесших наибольший вклад в прогнозирование вулканических извержений на Камчатке в 1955–2015 годы.

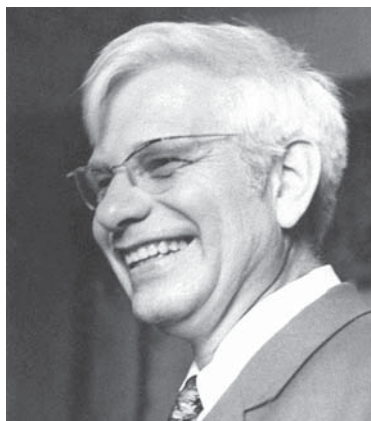
Г.С. Горшков, чл.-корр. АН СССР, известный вулканолог, сейсмолог и минералог, является автором катало-

га действующих вулканов Курильских островов, пионером сейсмологических исследований на Камчатке, им была предложена первая классификация вулканических землетрясений Камчатки, впервые сделаны оценки глубины магматического очага Ключевского вулкана, изучены сейсмологические предвестники и особенности катастрофического извержения вулкана Безымянного в 1955–1956 годах, дан среднесрочный прогноз его пароксизмальной фазы 30.03.1956, разработана теория направленных вулканических взрывов [3–5].

П.И. Токарев в 1955–1993 годы являлся главным экспертом по сейсмологическим методам прогноза на Камчатской вулканостанции, затем в Институте вулканологии Дальневосточного научного центра Сибирского отделения (ДВНЦ СО РАН), затем в ИВ ДВО РАН. Он разработал детальную классификацию вулканических землетрясений Камчатки, методики краткосрочного прогноза вершинных извержений андезитовых вулканов и побочных извержений базальтовых вулканов,

оценок ожидаемых масс изверженных продуктов, в июле 1975 года успешно предсказал большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ) и побочное извержение Ключевского вулкана в 1983 году. Прогноз времени начала и места БТТИ можно считать выдающимся результатом. На основании развития Асачинского роя вулканических землетрясений им было сделано заключение о маловероятности извержений вулканов Асачинской группы, которое успешно оправдалось. П.И. Токаревым была создана научная школа сейсмологического прогноза вулканических извержений, начато создание соответствующей службы прогноза. Им издан обширный каталог вулканических землетрясений Камчатки [6–10].

А.М. Чирков исследовал предвестники извержений вулканов по данным изменения концентраций радона в термальных источниках. В 1971 году он выдал успешный среднесрочный прогноз извержения Карымского вулкана. Являлся руководителем группы «Вулкан» в Институте вулканологии, возглавлял экспедицию по изучению



Георгий Степанович Горшков  
(1921–1975)



Павел Иванович Токарев  
(1923–1993)



БТТИ в 1975–1976 годах [11]. И.А. Меньяйлов внес неоценимый вклад в развитие газогидрохимических методов мониторинга и прогноза, особенно важных для газовых, гидротермальных извержений. Им были успешно спрогнозированы извержения вулканов Эбеко в 1987-м и Шивелуч в 1993–1994 годах. [12, 13]. К сожалению, успешные работы И.А. Меньяйлова были трагически прерваны в связи с его гибелью в 1993 году во время отбора газов на вулкане Галерас в Колумбии. Его именем назван один из побочных прорывов Толбачинского извержения в 2012–2013 годах.

В.И. Горельчик была одним из ведущих вулканических сейсмологов. Она предложила скоростную модель земной коры Ключевской группы вулканов, детально исследовала ее сейсмический режим, в частности района БТТИ в связи с извержением в 1975–1976 годах, обнаружила миграцию коровых землетрясений в районе Ключевского вулкана в связи с его вершинными извержениями. Совместно с В.Т. Гарбузовой сделала успешный прогноз места побочного прорыва на Ключевском вулкане в 1983 году [14–16]. В.В. Степанов в 1971–1980 годы руководил сейсмологической сетью Камчатской вулканологической станции. Является автором успешного краткосрочного прогноза появления III конуса большого трещинного Толбачинского извержения в июле 1975 года (совместно с В.Т. Гарбузовой) [17].

А.В. Сторчеус являлся одним из ведущих специалистов в области вулканической сейсмологии, акустики и изучения механизма извержений. Им предложены оригинальные модели вулканических взрывов, он разработал модель глубинного вулканического дрожания (совместно с Б.А. Трубниковым, Ю.Б. Слезиным и Б.И. Самойленко). Им была предложена модель образования глубинных длиннопериодных вулканических землетрясений Ключевского вулкана. А.В. Сторчеус дал успешный среднесрочный прогноз извержения Карымского вулкана в 1996 году [18, 19].

Г.М. Гавриленко разработал методику определения концентрации хлоридов во флюидах, поступающих в бессточные вулканические озера, развивал газогидрохимические методы мониторинга и прогноза. Он является автором успешных среднесрочных прогнозов газовых (гидротермальных) извержений вулканов Мутновский в 2007 году и Горелый в 2010 году [20].

Академик РАН С.А. Федотов, директор ИВ ДВО РАН, является главным организатором детальных сей-



Анатолий Максимович Чирков  
(1934–1996)

смологических исследований на Камчатке, в частности на действующих вулканах. Является автором серии работ по изучению магматических питающих систем и механизму извержений вулканов. Им была разработана методика дистанционной оценки тепловой мощности вулканических источников по высотам подъема их струй и облаков. В июле 1976 года С.А. Федотовым был сделан краткосрочный прогноз усиления активности первого конуса Северного прорыва БТТИ, который успешно оправдался. В 1987 году он создал совет по прогнозу сильных землетрясений и извержений вулканов ИВ ДВО РАН и с этого времени является бессменным его председателем [21]. 1 января 1996 года С.А. Федотов выдал успешный



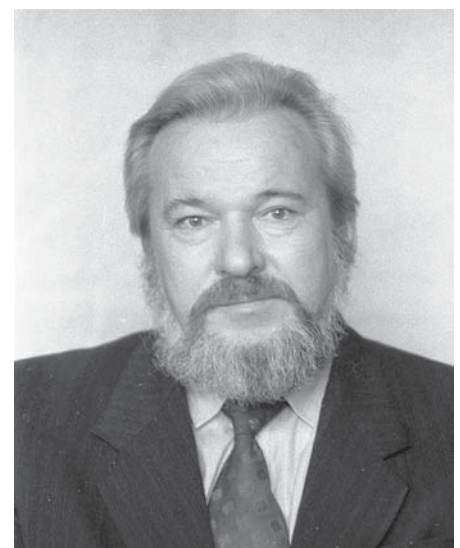
Игорь Александрович Меньяйлов  
(1937–1993)

краткосрочный прогноз извержения Карымского вулкана. Благодаря прогнозу на следующий день, 2 января, вулканологи смогли увидеть редкое природное явление – одновременное извержение Карымского вулкана и подводное извержение в Карымском озере. Это можно рассматривать как выдающееся достижение.

А.И. Малышев выдал ряд успешных краткосрочных прогнозов извержений вулкана Безымянный по характерным изменениям морфологии его активного лавового купола, появлению автоэксплозивных лавин и модели деформационно-экструзивного процесса [22]. О.А. Гирина является руководителем группы КВЕРТ по обеспечению безопасности авиapolетов от сильных



Валентина Ивановна Горельчик  
(1936–2002)



Владимир Витальевич Степанов  
(1938–1999)





**Ключевской вулкан, вид от сеймостанции «Апахончич» (фото Н. Смелова)**



**Извержение вулкана Безымянный (фото Н. Смелова)**



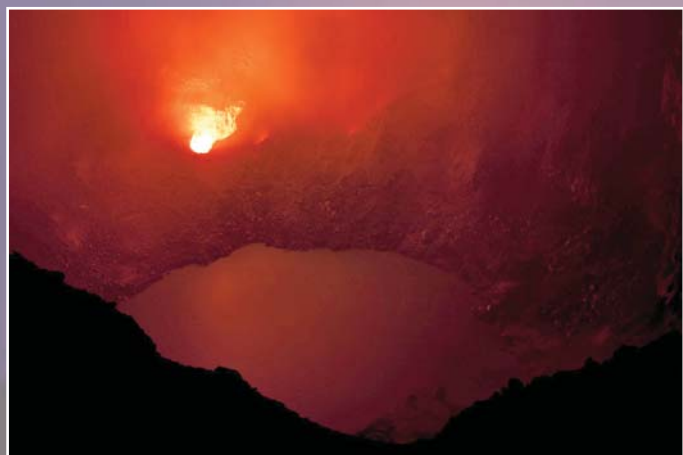
**Извержение Авачинского вулкана, вид из г. Петропавловска-Камчатского (фото Н. Смелова)**



**Полуостров Новогодний, образовался во время подводного извержения в Карымском озере 1–2 января 1996 г. (фото Н. Смелова)**



**Облако сильного взрыва вулкана Шивелуч достигло стратосферы (фото Н. Смелова)**



**Вулкан Горелый, истечение раскаленных газов из жерла. Внизу – кратерное озеро (фото Д. Будкова)**



Извержение вулкана Кизимен (фото С. Горшкова)



Сильный взрыв на вулкане Шивелуч  
(фото Ю. Демянчука)



Лавовые потоки вулкана Плоский Толбачик  
(фото Ю. Демянчука)



Извержение Карымского вулкана в 1996 г.  
(фото Н. Смелова)



Лавовые потоки вулкана Плоский Толбачик  
(фото Ю. Демянчука)





Александр Васильевич Сторчев  
(1950–2010)

пепловых вулканических извержений. Она детально исследовала предвестники сильных взрывных фаз во время умеренных извержений на андезитовом вулкане Безымянный по спутниковым тепловым данным. В 2001–2012 годы ею был выдан ряд успешных прогнозов сильных взрывных фаз на этом вулкане [23]. С.Л. Сенюков является руководителем лаборатории исследования вулканической и сейсмической активности Камчатского филиала геофизической службы (КФ ГС) РАН. Совместно с С.Я. Дроздиной и Т.Ю. Кожевниковой им была разработана методика выделения пепловых выбросов и оценки их высот подъема по сейсмологическим данным. Он предложил интересный алгоритм прогноза сильных взрывных фаз умеренных извержений вулкана Безымянный по сейсмологическим и тепловым спутниковым данным, на основе которого был выдан целый ряд успешных прогнозов. Следует также отметить выданный им с коллегами успешный прогноз начавшегося в 2009 году извержения вулкана Кизимен и прогноз развития вершинного извержения Ключевского вулкана в 2005 году [24].

Отдельные успешные прогнозы важны, однако гораздо большее значение имеет разработка надежных методик прогнозирования. В.А. Широков предложил методику долгосрочного прогноза времени и масштаба извержений на основании учета влияния



Георгий Михайлович Гавриленко  
(1951–2009)

космических факторов и неравномерности вращения Земли (космофизический метод), а также среднесрочного прогноза на основании появления групп землетрясений в верхней мантии. Им разработана также методика прогноза побочных извержений Ключевского вулкана, основанная на комплексном применении долго-, средне- и краткосрочных предвестников. Долгосрочный предвестник выделялся по космофизическим данным. В качестве среднесрочного предвестника В.А. Широковым рассматривалось появление групп землетрясений в верхней мантии в соответствующих активным вулканам гипоцентральных объемах. Краткосрочные предвестники имели место во время роев коровых вулканических землетрясений и резкого прекращения вулканического дрожания от вершинного кратера Ключевского вулкана в связи с началом такого роя. Эффективность комплексного прогноза (по ретроспективным данным на 30-летнем материале обучения) оказалась на один-два порядка выше, чем при прогнозе по каждому из предвестников в отдельности и в 500–800 раз больше, чем при случайном угадывании событий [25]. Предложенный подход, вероятно, может быть использован для прогноза извержений других вулканов по комплексу методов. Разработку методики комплексного прогноза можно считать выдающимся результатом.

Важность наличия опытных экспертов для успешного прогноза иллюстрирует следующий факт. В апреле 1993 года на еженедельных заседаниях совета по прогнозу ИВ ДВО РАН обсуждалось развитие сейсмичности на вулкане Шивелуч. Однако, несмотря на явный предваряющий рой вулканических землетрясений, правильной его интерпретации и краткосрочного прогноза извержения вулкана сделано не было, поскольку на заседаниях не было опытного эксперта по сейсмологическим данным (П.И. Токарев умер в феврале 1993 года).

### ВЫВОДЫ

В силу высокой и разнообразной активности полуостровов Камчатка является одним из важных полигонов для изучения активного вулканического процесса и отработки методик мониторинга и прогноза извержений. С начала инструментальных наблюдений на действующих вулканах (1947) на Камчатке работала целая плеяда замечательных исследователей (экспертов). Были предложены интересные методики мониторинга и прогноза по сейсмологическим, газогидрохимическим, космофизическим и другим данным, как долго- и среднесрочные, так и краткосрочные. П.И. Токаревым создана научная школа сейсмологического прогноза. С 1978 года работают экспертные советы по прогнозу. Это позволило с 1956 по 2015 год дать ряд эффективных успешных прогнозов, включая пароксизмальные извержения вулканов Безымянный, Шивелуч, Плоский Толбачик, умеренные и слабые извержения вулканов Карымский, Горелый, Мутновский и Эбеко. Вместе с тем отмечено большое количество «пропусков цели» и «ложных тревог». Значительный прогресс в этом направлении может быть достигнут путем комплексирования различных методов прогноза. Не умаляя деятельности советов по прогнозу, следует констатировать, что пока каждый успешный прогноз — это результат многолетних наработок конкретного эксперта в выбранной им области, нередко для этого требуется немалая интуиция и талант. Детальный анализ полученного на Камчатке богатого опыта будет способствовать повышению эффективности прогнозирования.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В.В. Прогноз извержений вулканов на Камчатке (основные итоги 1955–2012). Ч. I // История и педагогика естествознания. 2015. № 1. С. 13–26.
2. Иванов В.В. Прогноз извержений вулканов на Камчатке (основные итоги 1955–2012) Ч. II // История и педагогика естествознания. 2015. № 2. С. 14–19.
3. Горшков Г.С. Вулканическое дрожание, связанное с прорывом кратера Былинкиной // Бюллетень вулканологических станций. 1954. № 23. С. 31–37.
4. Горшков Г.С., Богоявленская Г.Е. Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения 1955–1963 гг. М.: Наука, 1965. 172 с.
5. Gorshkov G.S. Prediction of volcanic eruptions and seismic methods of location of magma chambers — A review // Bull. Volcanol. Napoli. 1971. Vol. 35. № 1. P. 198–211.
6. Токарев П.И. Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы. М.: Наука, 1966. 118 с.
7. Токарев П.И. Предсказание места и времени начала большого Толбачинского извержения в июле 1975 г. // ДАН СССР. 1976. Т. 229. № 2. С. 439–442.
8. Токарев П.И. К методике прогноза извержений вулканов Камчатки по сейсмологическим данным // Бюлл. вулканол. ст. 1977. № 53. С. 38–45.
9. Токарев П.И. Вулканические землетрясения Камчатки. М.: Наука, 1981. 164 с.
10. Tokarev P.I. The prediction of large explosions of andesitic volcanoes // Journal of geodynamics. 1985. V. 3. P. 219–244.
11. Чирков А.М. Радон в термальном источнике как индикатор состояния Карымского вулкана // Бюлл. вулканол. ст. 1973. № 49. С. 99–102.
12. Меняйлов И.А. Зависимость состава вулканических газов от состояния вулканической активности и геохимический прогноз извержений // Бюлл. вулканол. ст. 1976. № 52. С. 42–48.
13. Меняйлов И.А., Никитина Л.П., Шапарь В.Н. Геохимические особенности эксплозий большого трещинного Толбачинского извержения. М.: Наука, 1980. 235 с.
14. Горельчик В.И. Сейсмические проявления вулканической деятельности // Глубинное строение, сейсмичность и современная деятельность Ключевской группы вулканов. Владивосток, ДВНЦ АН СССР. 1976. С. 89–107.
15. Горельчик В.И. Сейсмическая активность Ключевского вулкана в период подготовки и развития прорыва Предсказанный в марте–июне 1983 г. // Вулканология и сейсмология. 1985. № 1. С. 71–87.
16. Горельчик В.И., Гарбузова В.Т., Сторчеус А.В. Глубинные вулканические процессы под Ключевским вулканом по сейсмологическим данным // Вулканология и сейсмология. 2004. № 6. С. 21–34.
17. Токарев П.И., Федотов С.А., Степанов В.В. Прогноз начала и развития извержения // Большое трещинное Толбачинское извержение. Камчатка, 1975–1975. М.: Наука, 1984. С. 373–388.
18. Сторчеус А.В. Рой длиннопериодных вулканических землетрясений, предвещающих извержение Карымского вулкана в 1996 г. // Матер. ежегод. конф., посв. Дню вулканолога 28–31 марта 2007 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2007. С. 75–82.
19. Трубников Б.А., Слезин Ю.Б., Самойленко Б.И., Сторчеус А.В. К теории глубинного вулканического дрожания // ДАН СССР. 1981. Т. 256. № 6. С. 1337–1340.
20. Гавриленко Г.М., Мельников Д.В., Зеленский М.Е., Тавинов Л. Многолетний гидрохимический мониторинг вулкана Мутновский (Камчатка) и фреатическое извержение вулкана в апреле 2007 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 1. Вып. 9. С. 127–132.
21. Федотов С.А. К 30-летию Совета Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН и Камчатского ГИ РАН по прогнозу землетрясений и извержений вулканов // Вулканология и сейсмология. 2008. № 6. С. 78–80.
22. Малышев А.И. Газовый фактор в эндогенных процессах. Институт геологии и геохимии УРО РАН. Екатеринбург. 2015. 324 с.
23. Гирина О.А. О предвестнике извержений вулканов Камчатки, основанном на данных спутникового мониторинга // Вулканология и сейсмология. 2012. № 3. С. 14–22.
24. Сеников С.Л. Прогноз извержений вулканов Ключевской и Безымянный на Камчатке. LAP Lambert Academic Publishing. 2013. 144 с.
25. Широков В.А. О резонансной природе наиболее сильных извержений вулканов Земли и их прогноз на ближайшие десятилетия по данным наблюдений с 1700 г. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России 27 сентября – 3 октября 2015 г. Петропавловск-Камчатский. КФ ГИ РАН.

## FORECAST OF VOLCANIC ERUPTIONS IN KAMCHATKA: ROLE OF EXPERTS

IVANOV V.V., Cand. Sci. (Geol.-Min.), Senior Researcher Institute of Volcanology and Seismology, Far Eastern Branch RAS (9, Bulvar Piipa, 683006, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia). E-mail: victor@kscnet.ru

## ABSTRACT

In the past six decades in Kamchatka it worked great galaxy of scientists (experts), which has developed a number of original methods for monitoring and predicting volcanic eruptions, based on which was issued a number of spectacular short-term forecasts eruptions for volcanoes: Great Tolbachik Fissure in the years 1975–1976, by-Klyuchevskoi in 1983, Shiveluch in 2001, Kizimen in 2009, Bezimiannyi in 2001–2012 and etc. Detailed analysis of the obtained Kamchatka rich experience will enhance the efficiency of forecasting natural disasters.

**Keywords:** volcanic eruption, volcanic hazard, forecasting of volcanic eruptions, experts.

## REFERENCES

1. Ivanov V.V. Forecast of volcanic eruptions in the Kamchatka peninsula (main results of 1955–2012). Part I. *Istoriya i pedagogika estestvoznaniya*, 2015, no. 1, pp. 13–26 (In Russian).
2. Ivanov V.V. Forecast of volcanic eruptions in the Kamchatka peninsula. Part 2 («Target passes», «False alarms» and their possible causes). *Istoriya i pedagogika estestvoznaniya*, 2015, no. 2, pp. 14–19 (In Russian).
3. Gorshkov G.S. The volcanic tremor associated with breakthrough Bylinkinoy crater. *Byulleten' vulkanologicheskikh stancij*, 1954, no. 23, pp. 31–37 (In Russian).
4. Gorshkov G.S., Bogoyavlenskaya G.Ye. *Vulkan Bezimiannyi i osobennosti ego poslednego izverzheniya 1955–1963* [Bezimianny Volcano and the Peculiarities of its Last Eruption in 1955–1963]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 172 p.
5. Gorshkov G.S. Prediction of volcanic eruptions and seismic methods of location of magma chambers — A review. *Bull. Volcanol. Napoli*, 1971, vol. 35, no. 1, pp. 198–211.
6. Tokarev P.I. *Izverzheniya i seismicheskiy rezhim vulkanov Klyuchevskoy gruppy* [Eruptions and Seismic Regime of Volcanoes of Klyuchevskaya Group]. Moscow, Nauka Publ., 1966. 118 p.
7. Tokarev, P.I. Prediction and characteristics of the 1975 eruption of Tolbachik volcano, Kamchatka. *DAN SSSR*, 1976, vol. 229, no. 2, pp. 439–442 (In Russian).
8. Tokarev P.I. K metodike prognoza izverzheniy vulkanov Kamchatki po seysmologicheskim dannym. *Byull. vulkanol. st.*, 1977, no. 53, pp. 38–45 (In Russian).
9. Tokarev, P.I. *Vulkanicheskie zemletreseniya Kamchatki* [Volcanic Earthquakes of Kamchatka]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 164 p.
10. Tokarev P.I. The prediction of large explosions of andesitic volcanoes. *Journal of geodynamics*, 1985, vol. 3, pp. 219–244.
11. Chirkov A.M. Radon in the thermal source as an indicator of the state of the volcano Karymskii. *Byulleten' vulkanologicheskikh stancij*, 1973, no. 49, pp. 99–102 (In Russian).